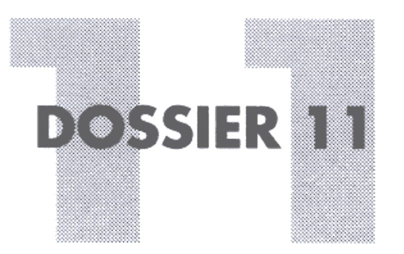
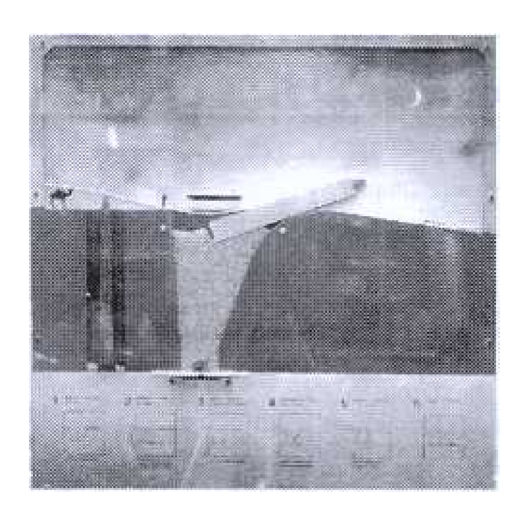


Comprendre une technique : l'érection de l'obélisque



Collection de l'Atelier d'exploration

Manipulation réalisée dans le cadre de l'exposition

« Des pharaons à nos jours, les bâtisseurs de Karnak » (1987-1991)

Conseiller scientifique

M. Golvin, Directeur du Centre franco-égyptien de Karnak, M. Vergnieux

Réalisation

Atelier d'exploration

1. Le contexte : l'exposition « Des pharaons à nos jours, les bâtisseurs de Karnak »

La petite histoire de Karnak

Des mythes fondés sur les cycles de la nature

Le travail des archéologues

Pourquoi une manipulation sur l'obélisque ?

2. Contenu scientifique

Question des scientifiques

Réponse des scientifiques

Processus de montage de l'obélisque

3. Description et but de la manipulation

L'objectif

Principe de fonctionnement

Les éléments de la manipulation

L'environnement informatif

4. Exploitation pédagogique

Les différentes phases de l'érection de l'obélisque

Introduction

La manipulation « L'érection de l'obélisque » s'inscrit dans le champ de l'histoire des techniques. Il s'agit de faire découvrir au public l'art et la manière de construire chez les Égyptiens de l'Antiquité. En ce qui concerne la communication muséologique, cette manipulation montre comment on peut combiner deux objectifs :
- la présentation d'une technique d'érection d'un obélisque par remplissage d'un «magasin», puis par son vidage ;
- la sensibilisation du public aux difficultés de cette technique et, en corollaire, au savoir-faire des bâtisseurs de Karnak.

Bien qu'il soit aujourd'hui légitime de considérer cette technique comme archaïque, il est important de montrer qu'elle exigeait un pilotage du chantier dont le modèle hérité sert pour la conduite des chantiers actuels : une approche rigoureuse des mouvements de l'objet à déplacer et la coordination des différents acteurs œuvrant à ce déplacement. Cet aspect de la communication est fort bien illustré parce que le visiteur doit faire plusieurs essais avant de trouver la manipulation adéquate. Cela nous paraît être une bonne façon d'appréhender correctement le problème d'un tel pilotage. Notons que cette façon de communiquer la technique peut être généralisée aux techniques d'aujourd'hui. Nous avons, dans le passé, développé une borne de consultation sur le métier de concepteur sur conception assistée par ordinateur (CAO). En réalisant une tâche simplifiée, le public percevait que l'important n'était pas l'outil CAO, mais le travail mental et le savoir-faire du concepteur. Une façon très efficace de démythifier l'ordinateur et de faire comprendre la place de l'homme par rapport à la machine.

Qui peut utiliser la manipulation « L'érection de l'obélisque » ?
- Les musées d'art, les musées des techniques et tous les centres de culture scientifique et technique ;
- les professeurs d'histoire et de technologie ;
- les enseignants du primaire pour les activités privilégiant les stratégies de découverte par l'action.

Ce dossier technique présente les différents aspects du prototype de manipulation « Obélisque » qui permet sa reproduction et son animation. Testé auprès de différents publics, ce prototype nécessite des modifications de détail qui devraient en améliorer l'efficacité communicationnelle.

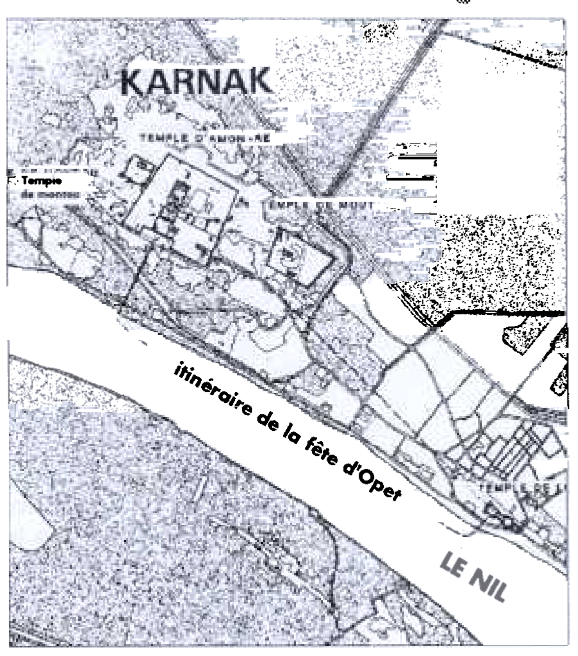
1. Le contexte : l exposition «Des pharaons à nos jours, les bâtisseurs de Karnak »

La célébration du vingtième anniversaire du Centre franco-égyptien d'étude et de restauration des temples de Karnak a été marquée par l'exposition du CNRS « Des Pharaons à nos jours, les Bâtisseurs de Karnak » (réalisée par le CNRS-Atelier d'exploration) et par l'édition d'un livre *Les Bâtisseurs de Karnak* (édité par les Presses du CNRS).
L'exposition présente l'art de bâtir chez les Égyptiens de l'Antiquité à travers des plans, des maquettes, des photographies, un film réalisé en collaboration avec EDF présentant la restitution du temple de Karnak grâce à la CAO et une manipulation sur l'érection d'un obélisque dont on trouvera la description technique dans ce dossier du prototype interactif.

La petite histoire de Karnak

Les origines de Karnak remontent au Moyen Empire, comme l'attestent les vestiges datant de Sésostris I[er], souverain d'Égypte qui régnait vers la fin du XX[e] siècle avant notre ère. L'état de conservation remarquable du temple et la précision des renseignements recueillis ont permis aux archéologues de reconstituer l'évolution du complexe monumental le plus imposant de Haute-Égypte. Pendant plus de deux millénaires, des bâtisseurs ont construit progressivement, au prix de modifications et d'extensions multiples, le plus grand temple de l'Antiquité.
À partir du début du Nouvel Empire, après l'invasion des Hyksôs, lorsque Thèbes redevint la capitale de l'Égypte reconquise, le grand temple d'Amon prend un développement exceptionnel. À la demeure divine de Karnak, ce grand temple dynastique de l'Égypte, chaque pharaon ajouta des monuments. Pylônes, salles hypostyles, chapelles, cours, obélisques seront édifiés par des rois aux noms célèbres - les Aménophis, les Thoutmosis, les Ramsès. Tous ces pharaons ne cesseront d'embellir ou d'agrandir les édifices plus anciens, contribuant ainsi à l'évolution et au développement du grand temple sur chacun de ses deux axes. Même les pharaons aux règnes les plus courts, comme Toutankhamon, réalisèrent d'importants monuments à Karnak. La reine Hatchepsout, Aménophis IV (le futur Akhenaton) ont également bâti sur ce site exceptionnel d'importants complexes monumentaux. Plusieurs fois au cours de l'histoire, des réalisations magnifiques disparurent soudain, à peine achevées, pour faire place à de nouveaux projets.
Pour le roi, l'acte de bâtir et de dédier un édifice à son divin-père Amon-Rê avait une valeur essentielle. Chaque monument était offert au dieu : celui-ci, par réciprocité, conférait à son « fils bien-aimé » vie, stabilité et force. Bâtir avait plus d'importance que conserver des monuments déjà réalisés. Outre le fait d'être en pierre, matériau noble et durable par excellence, les blocs dont les temples étaient constitués gardaient toujours un caractère sacré. Au lieu de les détruire, on les employait directement dans les constructions nouvelles. Le temple subissait une métamorphose continue en absorbant littéralement sa propre substance.

Figure 1



Carte de la région thébaine, par Denise Revault.
Source : d'après Golvin J. C. & Goyon J. C., *Les bâtisseurs de Karnak*, Presses du CNRS, 1987.

Des mythes fondés sur les cycles de la nature

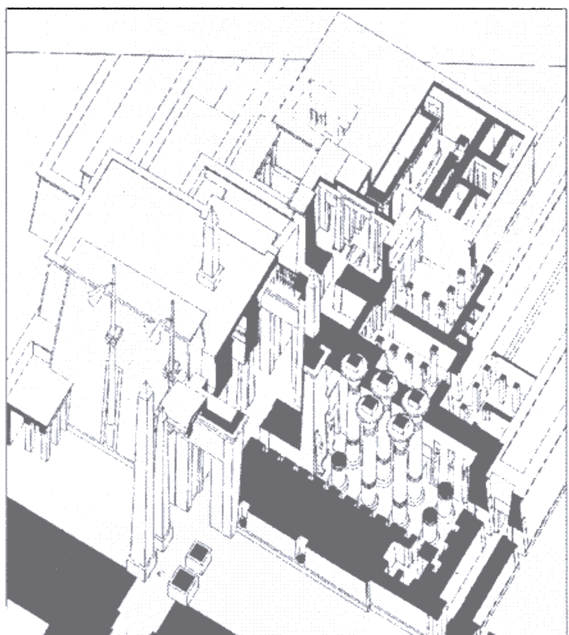
L'architecture des grands temples ne peut être comprise que si l'on considère les raisons religieuses qui ont présidé à la réalisation de chaque élément construit et à celle de toutes les parties de la décoration des parois. Les Égyptiens ont gravé dans la pierre une foule d'informations qui permettent de retrouver, de compléter et de préciser leur conception du monde fondée sur l'interprétation des conditions naturelles particulières à leur pays régi par de grands cycles.
La course diurne du Soleil et le rythme annuel d'évolution du Nil (crues et décrues saisonnières) ont créé les bases du système sur lequel se sont construits les grands mythes. Chaque dieu assurait une fonction particulière. Amon (« Imn », le caché, l'inconnaissable) représentait l'entité divine suprême. Ce dieu créateur, « roi des dieux », se confond avec l'histoire de Thèbes et celle de la royauté égyptienne. Au plus profond du sanctuaire de Karnak résidait une petite statue d'or d'une coudée de haut. Elle représentait cette parcelle d'énergie divine déléguée aux hommes pour assurer la stabilité et le bon fonctionnement de l'Univers, à charge pour eux de la protéger et de l'entretenir. C'était la fonction primordiale du temple.

Un clergé nombreux, hiérarchisé et spécialisé, assurait toutes les fonctions liées à la vie religieuse et temporelle du temple. Conformément aux vœux du pharaon et aux impératifs religieux, prêtres, architectes, chefs de travaux, scribes et une foule d'ouvriers s'affairèrent sans cesse à Karnak. Au cours de sa longue histoire, le temple dut résonner du bruit des outils et des chants par lesquels les hommes rythmaient leurs travaux.

Le travail des archéologues

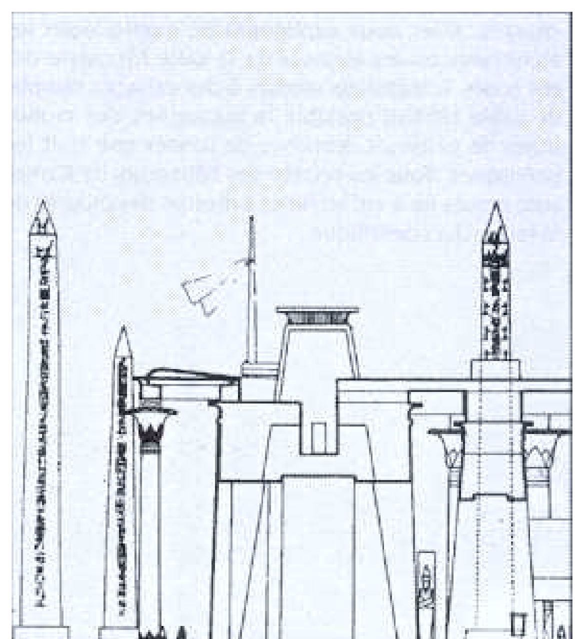
Les chercheurs durent dessiner un à un les blocs épars, puis tenter patiemment de retrouver la manière dont les pierres s'assemblaient naguère et comment les reliefs sculptés s'organisaient sur les parois du grand temple. Ils durent relever les monuments subsistants et étudier tous les indices fournis par les fouilles. La synthèse de tous les éléments disponibles (lecture des parois ou des textes anciens sur papyrus, analyses de laboratoire, caractéristiques architecturales des édifices) permet seule aujourd'hui de comprendre les raisons véritables de l'édification du monument et de reconstituer peu à peu des périodes entières de l'évolution de Karnak. S'il est vain d'espérer reconstruire un jour l'ensemble de cette histoire extraordinairement complexe, ses grandes lignes sont mieux délimitées qu'il y a une dizaine d'années.

Figure 2



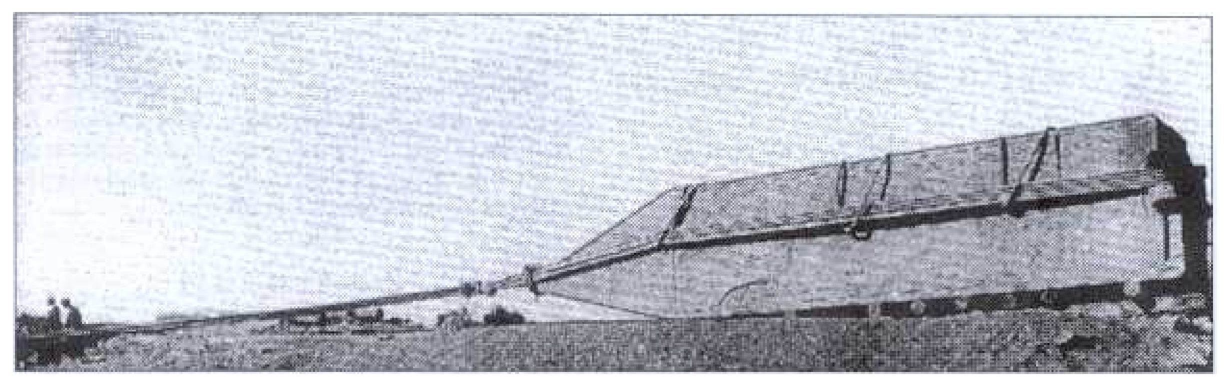
Le temple d'Amon sous Aménophis III, par Véronique Noyère.
Source : d'après Golvin J. C. & Goyon J. C., *Les bâtisseurs de Karnak*, Presses du CNRS, 1987.

Figure 3



Côté ouest du temple d'Amon sous Thoutmosis IV, par Véronique Noyère.
Source : d'après Golvin J. C. & Goyon J. C., *Les bâtisseurs de Karnak*, Presses du CNRS, 1987.

Photo 1



Déplacement de l'obélisque sud d'Hatchepsout selon les méthodes antiques, par Legrain G.
Source : d'après Golvin J. C. & Goyon J. C., *Les bâtisseurs de Karnak*, Presses du CNRS, 1987.

Outre l'intervention des laboratoires spécialisés pour l'étude des pigments peints et des matériaux de construction, l'apparition de l'informatique dans ces disciplines (égyptologie, architecture antique, histoire des techniques) provoque aujourd'hui une véritable révolution. Grâce à la conception assistée par ordinateur, il est possible de dessiner sous tous les angles souhaitables les édifices, d'étudier leur aspect, leur imbrication, leur succession, de simuler les volumes bâtis et de traduire l'évolution historique d'ensembles monumentaux extrêmement complexes.
Les techniques simples et efficaces que les Égyptiens maîtrisaient parfaitement sont mieux comprises. Des rampes de terre et de briques crues, sur lesquelles étaient disposées des glissières de limon arrosé, permettaient le glissement des traîneaux lourdement chargés. Elles nous expliquent de quelle façon les architraves ou les linteaux de la salle hypostyle ont été posés. L'ingénieux recours à des caissons remplis de sable rendait possible la manœuvre des monolithes de plusieurs centaines de tonnes que sont les obélisques. Tous les secrets des bâtisseurs de Karnak sont percés un à un, au fur et à mesure des progrès de la recherche scientifique.

Pourquoi une manipulation sur l'obélisque ?

Il est intéressant de présenter au public l'un des aspects spectaculaires de la construction et le moins bien connu du public. Il s'agit de la restitution, fruit d'une recherche scientifique récente, du mouvement suivi par un obélisque au cours de son érection. On assiste ainsi, grâce à la simulation effectuée « en direct », à ce qui se passait sur les chantiers gigantesques de Karnak ou de Louqsor au temps de la splendeur des pharaons. Aucun site ne pouvait mieux se prêter à l'illustration de cet acte spectaculaire que Karnak. Quinze obélisques au total y furent érigés et le plus grand de tous dressait superbement sa pointe revêtue d'or à plus de 32 mètres de hauteur, en plein dans l'axe du sanctuaire. L'équipe de recherche de la Mission permanente du CNRS en Égypte et le CNRS-Atelier d'exploration de Meudon ont collaboré étroitement à l'étude et à l'exécution de la maquette qui nous restitue pour notre plaisir et notre information le fascinant mouvement que les « bâtisseurs de Karnak » savaient imprimer à des blocs de granit avec une précision étonnante.

2. Contenu scientifique

Question des scientifiques

Arrachés au sol d'Egypte et fièrement redressés au milieu des plus grandes capitales du monde, les obélisques évoquent, dans notre imaginaire collectif, l'Égypte antique à travers les siècles. Pour les pharaons, l'obélisque était un symbole solaire et royal majeur. Sa pointe pyramidale revêtue d'or ou d'électrum (mélange d'or et d'argent) reproduisait la forme régulière et parfaitement orientée du premier dièdre issu des eaux de l'océan primordial lorsque Rê, le Dieu solaire, créa le monde. Sous l'effet des rayons du soleil, cette pointe étincelle en position élevée, créant un lien puissant entre l'astre divin et le temple, entre le ciel et la terre. L'obélisque était fait d'un seul bloc de granit sans défaut, posé verticalement sur un socle. Il était revêtu d'inscriptions de dédicaces évoquant l'acte symbolique par lequel le pharaon faisait offrande du monument à son divin-père, Amon-Rê. Comment faisaient les Égyptiens pour redresser ces énormes blocs de granit sans moyens de levage performants ?
Pour avoir une idée des difficultés techniques que les bâtisseurs devaient résoudre, consultons le tableau 1.

Réponse des scientifiques

Nous rapporterons ici les principaux éléments de la réponse fournie par les archéologues J.C. Golvin et J.C. Goyon. Aucun bas-relief n'a représenté de façon complète l'érection des obélisques et le sujet a fait l'objet de nombreuses hypothèses. Aucune n'est

Tableau 1

Site d'origine, nom et (ou) localisation actuelle de l'obélisque	Constructeur	Hauteur en mètres	Poids en tonnes
HELIOPOLIS	Sesostris I (1971-1929 av. J.-C.)	20,40	136
KARNAK/ IVe pylône	Thoutmosis 1508-1493 av. J.-C.	20,01	130
KARNAK IVe et Ve pylônes	Hatchepsout (1490-1470 av. J.-C.)	28,48	374
Obélisque unique de KARNAK (ROME, St-Jean de Latran)	Thoutmosis III (1470-1439 av. J.-C).	33,10	510
Obélisque ouest du VIIe pylône de KARNAK Obélisque de l'Hippodrome (ISTANBUL)	Thoutmosis III	28,98	380
(NEW YORK)	Thoutmosis III	21,20	224
(LONDRES)	Thoutmosis III	20,80	209
(ROME, Piazza del Popolo)	Sethi I (1303-1290 av.J.-C.)	23,90	235
LOUQSOR Obélisque ouest (PARIS, Place de la Concorde)	Ramsès II (1290-1224 av.J.-C.)	22,60	246

Proportions des différents obélisques répertoriés.

entièrement satisfaisante, bien que certaines (les seules méritant d'être retenues ici) aient apporté des précisions intéressantes. La plus vraisemblable et la mieux argumentée est celle de R. Engelbach, mais elle est malheureusement incomplète. Il est pratiquement certain, comme le propose cet auteur, que les obélisques étaient montés sur de longues rampes situées dans leur prolongement. Nous pouvons ajouter que leur pente pouvait être analogue à celle de l'échafaudage de briques crues du premier pylône de Karnak (environ 5 grades). À l'appui de cette supposition doivent être cités plusieurs arguments. On sait que les lourdes charges étaient toujours déplacées ainsi en Égypte et que cette technique était la seule qui permettait la pose de monolithes aussi gros que les linteaux de granit du premier pylône de Karnak, dont le poids approchait de celui des grands obélisques. Les renseignements fournis par le papyrus d'époque rammesside *Anastasi* I sont très précieux et ils nous semblent plus nombreux et précis qu'on ne l'a vu jusqu'à maintenant. Rappelons que ce papyrus contient une série de problèmes techniques qu'un scribe appelé Hori posait à un disciple du nom d'Amenemopê dans le but de lui faire calculer les quantités d'hommes ou de matériaux nécessaires à certaines opérations. L'une d'elles concerne justement un obélisque qui vient d'être achevé et dont on précise les dimensions à l'élève scribe : 110 coudées de long (env. 55 m) avec une base de 10 coudées (env. 5 m), un pyramidion d'une coudée (0,5 m), etc. Certes, les proportions du monolithe ne correspondent guère à celle d'un véritable obélisque, mais il est vrai qu'il s'agissait ici d'un exercice de calcul dont les données chiffrées

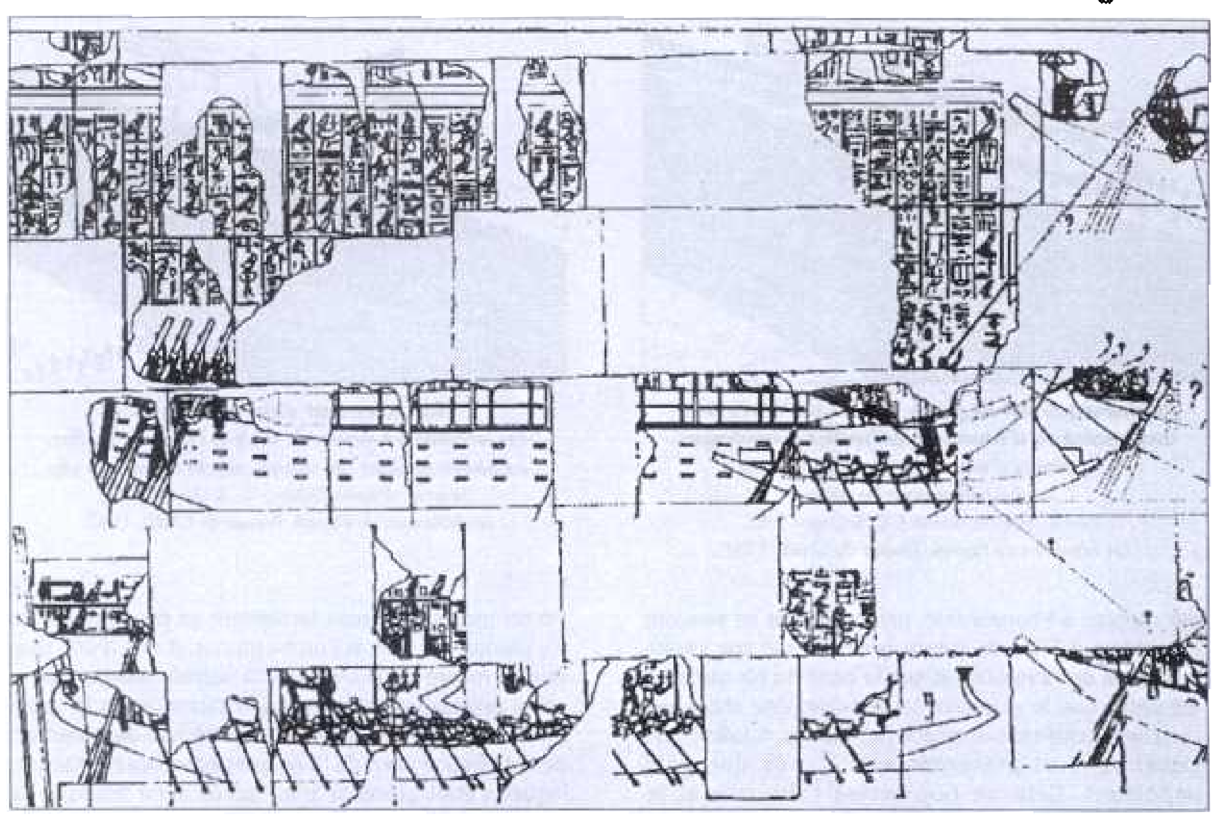
Photo 2



Dos d'un scarabée de Thoutmosis III, où figure l'érection d'un obélisque.
Source : d'après Golvin J. C. & Goyon J. C.,

pouvait être théoriques. Ce passage du papyrus livre en outre un renseignement extrêmement intéressant : il précise que l'obélisque monte sur une rampe et offre donc la preuve absolue de l'utilisation de glissières inclinées pour le déplacement de ces monolithes.
Vient enfin la question posée à l'élève : quel sera le nombre d'hommes nécessaires pour tirer cet obélisque ? Ce document est intéressant à plus d'un titre. Il nous montre que certaines données techniques de l'opération pouvaient être calculées ou du moins « estimées » et que des scribes étaient parfaitement formés à cette tâche.
Il est fort troublant de rapprocher ce passage de celui situé juste avant lui dans le même papyrus, ordre qui laisse supposer qu'il se réfère sans doute à un dispositif ayant trait aux obélisques. La place de ce passage dans le papyrus et la nature de son contenu ne semblent guère correspondre à une simple coïncidence. Ce texte est tellement intéressant que nous devrons lui consacrer ici une attention toute particulière.
Le scribe Hori évoque cette fois la construction d'une rampe de 730 coudées de long (environ 365 m) et de 55 coudées de large (environ 27,50 m) consistant en 120 compartiments, «remplis de roseaux et de poutres». Elle atteignait une hauteur de 60 coudées (environ 30 m) à son sommet. D'autres passages se comprennent moins clairement : son centre est de 30 coudées (15 m), sa base de 5 coudées (2,5 m).
Il est dit que sa pente est de 15 coudées (7,50 m). Plus loin, on précise que la quantité de briques nécessaire sera demandée au commandant de l'armée et qu'il faudra tenir compte des dimensions données. On a donc la preuve que cette grande rampe était construite en briques crues (comme les échafaudages lourds servant à bâtir les monuments) et que les dimensions indiquées étaient précises. Il est ajouté que chacun des « compartiments » avait 30 coudées de long (15 m) et 7 coudées de large (3,5 m). Ils représentaient assurément les caissons internes de la rampe qui devaient être délimités par les murs de briques crues et remplis probablement de matériaux friables dont on rigidifiait la masse à l'aide de roseaux et de pièces de bois.
Si ce passage a bien - comme nous le supposons - un rapport direct avec l'exercice suivant évoqué dans le papyrus (relatif à un obélisque), il révélerait les caractéristiques essentielles des grandes rampes construites pour ériger ces monolithes.
Un autre document mérite d'être cité à l'appui de cette démonstration. Il s'agit d'une scène gravée au revers d'un scarabée commémoratif de l'érection de l'obélisque unique de Karnak (celui de Saint-Jean-de-Latran aujourd'hui). Sous l'obélisque apparaît un schéma du plan incliné de l'échafaudage ayant servi à l'ériger et des caissons ou compartiments. L'existence de telles structures n'a rien d'étonnant puisqu'elles rappellent les détails des grands échafaudages de briques crues que nous avons évoqués à propos du

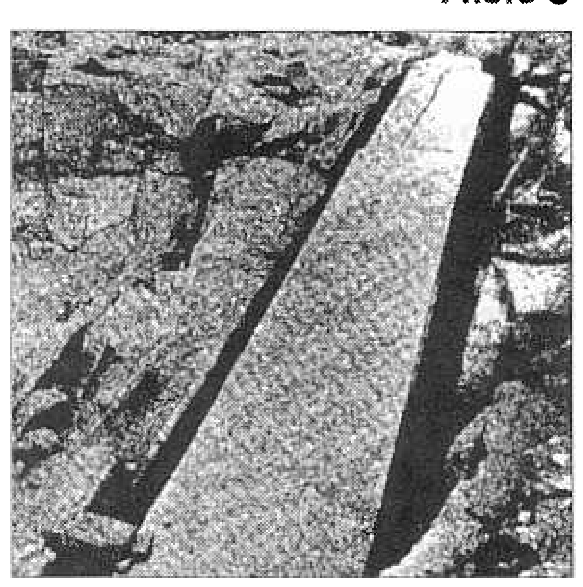
Figure 4



Bas-relief du temple d'Hatchepsout à Deir el-Bahari, par Naville.
Les obélisques sont transportés, par voie fluviale, sur de grandes barges remorquées par des bâteaux à rames et escortés par des navires de cérémonie.
Source : d'après Golvin J. C. & Goyon J. C., *Les bâtisseurs de Karnak*, Presses du CNRS, 1987.

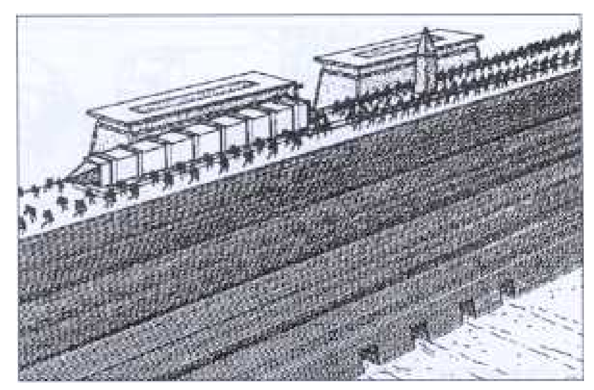
premier pylône du temple de Karnak. Cette similitude n'est pas fortuite. Elle est due au fait que le problème technique majeur à résoudre était, dans les deux cas, de parvenir à faire monter de très gros monolithes avec une parfaite maîtrise, c'est-à-dire avec précision et sécurité. On doit ajouter qu'en ce qui concerne les obélisques, cette montée était liée au mode d'érection employé, comme nous allons le démontrer. D'après les bas-reliefs de Deir-el-bahari, les « aiguilles » de granit étaient transportées horizontalement. Par conséquent, la difficulté essentielle à résoudre consistait, après avoir fait glisser ces « aiguilles » en haut d'une rampe, à les faire pivoter pour qu'elles prennent une position verticale. L'arête inférieure des obélisques pivotait incontestablement dans une rainure, nettement visible lorsque les socles sont bien conservés. La forme et les dimensions de celle-ci permettaient à l'arête inférieure du monolithe de tourner dans le vide et lui évitaient de s'effriter. On peut démontrer que si l'obélisque s'était présenté horizontalement sur son socle, il n'aurait pu atteindre l'axe de rotation nécessaire, car le rebord extérieur de la rainure qui a subsisté dans tous les cas connus l'aurait obligé à passer au-dessus. De même, si l'obélisque avait été présenté sous un angle très petit

Photo 3



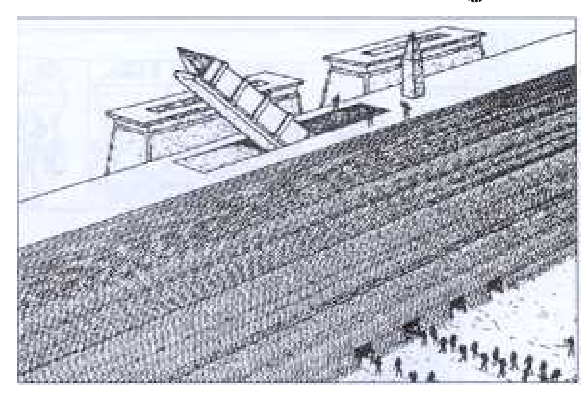
Obélisque inachevé dans les carrières de granit d'Assouan, par Engelbach R.
Source : d'après Golvin J. C. & Goyon J. C., *Les bâtisseurs de Karnak*, Presses du CNRS, 1987.

Figure 5



L'obélisque est déplacé sur un traîneau par une centaine d'hommes à l'aide de cordages.
Les porteurs d'eau arrosent en permanence la glissière devant les patins.
Source : d'après Golvin J. C. & Goyon J. C., *Les bâtisseurs de Karnak*, Presses du CNRS, 1987.

Figure 6



Basculement d'un obélisque.
Les terrassiers évacuent le sable à l'aide de couffes, en pénétrant dans des tunnels placés au bas du silo.
Source : d'après Golvin J. C. & Goyon J. C., *Les bâtisseurs de Karnak*, Presses du CNRS, 1987.

par rapport à l'horizontale, les forces qui se seraient exercées sur l'axe de rotation déterminé par l'arête inférieure de la rainure et sur la base du fût auraient été telles que le granit se serait brisé. Une chose est certaine : pour utiliser une telle rainure, il fallait que l'obélisque se présentât à elle sous un angle important. Cela ne pouvait se faire que si le monolithe avait été tout d'abord élevé à un niveau situé nettement au-dessus de son socle et basculé ensuite de façon à venir se placer convenablement sur son axe de rotation, d'où la nécessité absolue de recourir à une rampe.

Après avoir assuré la montée du monolithe, on devait parvenir à le faire basculer et à conduire, de manière extrêmement sûre, son arête inférieure vers la rainure taillée dans le socle.

Processus de montage de l'obélisque

Première phase de l'érection : le basculement initial

Rôle de la rampe et du sable

L'obélisque arrivant presque à l'horizontale en haut de la rampe, il fallait que son extrémité s'abaissât progressivement pour que son basculement se produisît. Cela ne pouvait se faire qu'une fois que le centre de gravité du monolithe avait dépassé l'extrémité de la rampe. On en déduit que la hauteur de l'obélisque avait un rapport direct avec celle de la rampe. Celle-ci ne pouvait être moins élevée que le centre de gravité du monolithe dressé. Elle ne devait pas non plus lui être absolument égale : la base de l'obélisque aurait heurté prématurément le socle et manqué la rainure de pose, comme nous avons pu le vérifier d'après maquette.

Un tel incident pouvait facilement se produire si l'on n'y prenait garde et si l'on ne disposait que d'une trop étroite marge de manœuvre. Il semble même être la seule explication technique satisfaisante - et la seule qui ait été avancée jusqu'ici - de l'échec de l'érection de l'obélisque nord de la reine Hatchepsout à Karnak, lequel s'était placé de biais après avoir manqué sa rainure de pose. Ces remarques permettent de conclure que la hauteur minimum de la rampe était obligatoirement supérieure à celle du centre de gravité de l'obélisque debout, attendu qu'on devait lui ajouter une hauteur de sécurité suffisante pour éviter toute erreur de manœuvre et garantir l'arrivée de la base du monolithe sur l'arête de la rainure de pose.

Il fallait enfin ajouter à la hauteur ainsi obtenue celle de la rotule (courbe) autour de laquelle le monolithe devait effectuer son basculement. Nous ne pouvons restituer les caractéristiques de cette dernière que par hypothèse : elle dut être aussi, du moins à l'origine, définie empiriquement. La courbe autour de laquelle on faisait basculer l'obélisque pouvait être plus ou moins tendue, mais l'aspect du mouvement effectif et le diagramme de variation des forces montrent que le profil de cette rotule devait être plus proche de celui d'une parabole que de celui d'un quart de cercle. Les dimensions de cette courbe devaient être déterminées afin de convenir le plus parfaitement possible à la répartition des efforts subis par le monolithe au cours de son mouvement. Les divers essais que nous avons réalisés sur maquette montrent que la hauteur nécessaire de la rampe équivalait presque à celle de l'obélisque debout.

Le moyen le plus sûr d'assurer le basculement de la masse considérable d'un grand obélisque n'a pas été directement révélé par des bas-reliefs ou des textes anciens. Mais il est parfaitement connu en ce qui concerne d'énormes colosses dont le poids équivalait parfois à celui des fameuses « aiguilles de granit ».

Le papyrus *Anastasi* I confirme l'emploi d'une technique particulièrement éprouvée dans ce domaine. Le scribe Hori demande à son élève de vider un «magasin» qui a été rempli de sable sous un colosse de 30 coudées de haut (15 m) et 20 coudées de large (10 m). Le sable, pris sur les bords du Nil, aurait été contenu dans 100 « chambres ». L'interprétation de ce texte fournit de précieux renseignements. On peut dire que les caractéristiques générales du colosse - et surtout son poids - étaient comparables à celles des grands obélisques. Le moyen de faire descendre une telle masse à son emplacement définitif était de vider le sable contenu dans un « magasin ». Ce sont les propriétés mécaniques du sable qui permettaient d'assurer le succès de telles opérations, car il transmettait les efforts exercés sur lui essentiellement de haut en bas et très peu latéralement. Par conséquent, les parois des caissons qui le contenaient n'avaient pas besoin d'être très épaisses. Elles ne risquaient pas de se briser sous l'effet d'une poussée latérale comparable à celle qu'aurait exercé un liquide. Le sable, une fois uniformément étendu sous la masse à soutenir, était un parfait répartiteur de forces et ne risquait en aucune façon de remonter sur les côtés comme l'aurait fait une boue fluide. La masse la plus pesante ne pouvait jamais s'enfoncer spontanément. Le seul moyen de la faire s'abaisser était de réduire le volume de sable placé sous elle. Cela pouvait se faire de façon extrêmement simple, en ouvrant des trappes de côté pour laisser s'échapper un certain volume de sable. En jouant sur la dimension des ouvertures et sur leur nombre, il était toujours possible de régler la vitesse d'écoulement.

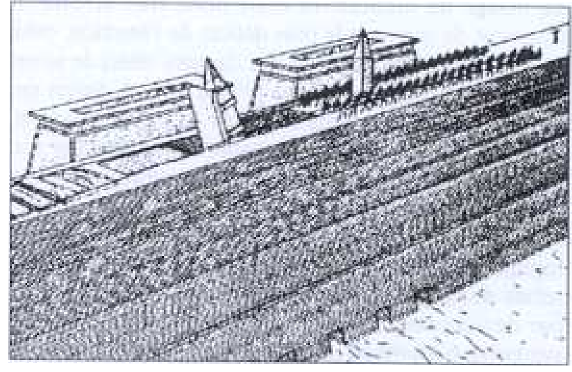
La question posée par le scribe donne encore une indication intéressante : il demande combien il faudra d'hommes pour vider le « magasin » en 6 heures. Ce vidage ne consistait donc pas en un écoulement spontané et continu de sable, mais il était produit par un enlèvement manuel régulier. Cela s'explique dans la mesure où l'on imagine qu'après l'ouverture des trappes, le volume de sable spontanément déversé à l'extérieur bloquait progressivement l'écoulement. Ce système offrait le grand avantage d'être progressif et contrôlable à tout moment, mais il n'était possible que si les trappes d'écoulement se trouvaient placées à la partie inférieure du « magasin ». L'utilisation du sable, si efficace pour le maniement de gigantesques statues de granit, est d'autant plus vraisemblable pour le basculement des obélisques qu'aucun autre système fondé sur l'écoulement d'un fluide liquide ne pouvait convenir et qu'aucun autre moyen mécanique d'échafaudages de bois, de palans ou de cabestans n'existait à l'époque pharaonique. Le but visé était de contrôler le mouvement à tout moment afin de laisser toujours la masse en appui. L'adoption d'un tel système permettait de réaliser un mouvement parfait sans aucune friction susceptible de produire de blocage ou de cassure, ce qui élimine, pour des raisons déterminantes, l'hypothèse de Choisy A[1]. Une autre indication importante, donnée par le papyrus *Anastasi* I, concerne la durée d'une telle opération. Le scribe Hori demande à l'élève combien d'ouvriers il faudra pour assurer le travail en six heures. Ce laps de temps, certes théorique puisqu'il fait partie d'une série d'exercices de calcul, n'est cependant pas tout à fait éloigné de la réalité. Un tel travail était sans doute plus une question d'heures que de journées.

Restitution théorique de la forme du magasin

Cet espace devait permettre à l'obélisque de basculer au-delà de son centre de gravité et de décrire à sa base une courbe dont l'extrémité aboutissait à la rainure de pose. Sa hauteur correspondait à celle de la rampe par laquelle arrivait le monolithe. Sa longueur (à la partie supérieure) ne pouvait excéder la distance séparant les deux obélisques d'une même paire. Sa largeur n'avait pas besoin d'excéder de beaucoup celle de l'obélisque emballé dans son revêtement protecteur de bois. Sa base ne devait pas dépasser sensiblement les dimensions du socle de l'obélisque. À sa partie inférieure, le magasin devait être assez grand pour recevoir le monolithe, pour circuler devant lui et assurer le bon écoulement du sable par une série de trappes suffisantes.

Tous ces impératifs montrent qu'il s'agissait d'une sorte de cuve profonde, évasée et vidée par le bas, dont les parois latérales devaient être verticales pour laisser passer le monolithe au cours du basculement. À l'arrière, il devait comprendre à sa partie supérieure la « rotule » parabolique précipitée. À l'avant, il était probablement limité par un mur qui n'était pas forcément très épais : dans le cas de l'érection du second obélisque d'une paire, celui-ci était situé devant l'obélisque déjà posé. Les parois de ce magasin, comme la rampe par laquelle on acheminait

Figure 7



Rotation finale d'un obélisque sur sa rainure de pose.
Source : d'après Golvin J. C. & Goyon J. C., *Les bâtisseurs de Karnak*, Presses du CNRS, 1987.

1. Choisy A, L'*Art de construire chez les Égyptiens*.

les monolithes, étaient certainement bâties en briques crues. Attendu que les charges à déplacer étaient de même nature, on peut se demander si le profil des parois extérieures du magasin et des rampes ne ressemblait pas à celui des « échafaudages lourds » utilisés pour la construction du premier pylône au nord de Karnak. Il reste à préciser l'aspect du mur postérieur du « magasin » qui se trouvait dans le prolongement de la courbe selon laquelle basculait l'obélisque. L'inclinaison de ce mur correspondait à celle qu'avait le monolithe en fin d'opération. Elle devait donc être définie avec précision. Pour que l'obélisque restât en appui une fois le sable écoulé, il fallait que l'angle de ce mur fût déterminé de telle sorte que la verticale du centre de gravité du monolithe restât située en arrière de l'arête de la rainure sur laquelle il reposait. On devait calculer cet angle parfaitement de façon que la verticale du centre de gravité tombât près de cette limite et que les efforts pour tirer le monolithe vers l'avant fussent les moins importants possible.

Seconde phase de l'érection : la rotation finale

À l'issue de la première phase, l'obélisque prenait appui sur sa rainure de pose qui constituait un axe de rotation assez précis pour guider le monolithe au cours de son redressement final et lui éviter de se poser franchement de travers. Rappelons que c'est certainement pour avoir manqué la rainure que l'obélisque nord du temple d'Hatchepsout s'est si mal posé. L'étroitesse de l'axe de rotation relativement friable que constituait l'arête de la rainure par rapport à la hauteur et à l'énorme poids du monolithe explique les imperfections observées à ce sujet.

Cette rotation finale posait de délicats problèmes. Il fallait tout d'abord solliciter le mouvement de l'obélisque vers l'avant en le tirant par des cordages et, aussitôt après que la verticale de son centre de gravité eut dépassé l'axe de rotation, le freiner énergiquement afin de lui éviter de tomber brutalement sur sa base au risque de se briser.

La marge de manœuvre était donc très étroite. Il s'agissait du moment le plus délicat de l'érection, celui où il convient (compte tenu des dangers réels) de situer une anecdote rapportée par Pline l'Ancien. Selon cet auteur, le roi Rhamessis (Ramsès II) aurait ordonné, pour que l'on prît garde à la manœuvre, d'attacher son fils au sommet du monolithe. Une telle anecdote n'aurait guère de sens à tout autre moment de l'érection. Outre nos déductions fondées sur la simple logique des opérations, nous connaissons les bas-reliefs de Karnak et d'Edfou où l'on voit le pharaon tirer par des cordes un obélisque vers l'avant. Ce geste symbolique exprimait mieux que tout autre l'acte même de l'érection dans son ensemble. Il ne semble pas étonnant que les Égyptiens l'aient choisi, pour exprimer la phase la plus caractéristique et la plus spectaculaire. On peut aisément deviner les risques réels de cette phase. Dès que la force de traction s'exerçait vers l'avant, il fallait continuer à tirer l'obélisque. En cas de relâchement ou de rupture des câbles, il serait venu s'écraser contre la paroi qu'il venait de quitter. Dès qu'il avait franchi le point d'équilibre défini par la verticale de son centre de gravité, il fallait aussitôt le maintenir à nouveau - cette fois-ci par derrière - grâce à une autre série de cordages. La solution la plus simple était de concevoir un système de freinage et de l'installer à l'arrière du monolithe. Il pouvait s'agir d'une grosse masse de sacs de sable reliée au sommet de l'obélisque par des cordages et pouvant glisser sur la rampe. Son poids total devait toujours être supérieur à la force exercée par l'obélisque lorsqu'il tendait à basculer spontanément sur son socle en tombant à la verticale et que son centre de gravité passait au-delà de l'angle critique. En luttant contre ce système de freinage et en forçant le monolithe à basculer vers l'avant au moyen de cordes de traction, il était possible de contrôler la dernière phase de l'érection et de poser finalement « en douceur » l'énorme masse de granit en effectuant le geste symbolique figuré sur les bas-reliefs pharaoniques.

Si le problème de l'extraction et du transport fluvial des obélisques avait été traité de façon précise, aucune explication complète fondée sur les documents exploitables n'avait été proposée quant à leur érection à l'époque pharaonique. Les études les plus récentes menées à Karnak (l'échafaudage de briques du premier pylône) et la synthèse des données fournies par les textes, les objets gravés ou les bas-reliefs, comblent aujourd'hui cette lacune. R. Engelbach avait restitué de façon convaincante la première phase de l'érection mais il n'avait rien dit de la seconde. D'après son étude, on ne parviendrait pas à placer l'obélisque à la verticale. H. Chevrier[2] a envisagé l'utilisation de cordages de traction pour effectuer ce redressement. Mais le monolithe qu'il a dessiné se serait présenté sous un angle tel qu'on ne serait pas parvenu à le redresser sans efforts exagérés. Son hypothèse est compliquée en raison de l'utilisation de pièces de bois inutiles. Le profil de sa rampe est plus éloigné de la réalité que celui d'Engelbach, comme le montrent les simulations effectuées d'après maquette. Celles-ci permettent de restituer le mouvement général et d'estimer l'importance des forces en présence. Ces vérifications et ce que nous savons des connaissances techniques des anciens Égyptiens, enlèvent beaucoup du mystère qui entourait encore tout ce qui touchait à l'érection des prestigieuses aiguilles de granit. Si la manip présente la séquence la plus spectaculaire de l'érection de l'obélisque, son environnement doit être soigné pour que le public comprenne toutes les phases de l'opération, aussi bien en amont qu'en aval. Les règles du jeu doivent être énoncées avec clarté : comment soulever une telle masse sans machine de levage et sans casser l'obélisque ?

2. Chevrier H., *Revue d'Égyptologie*, n° 22, 1970.

3. Description et but de la manipulation

Le dispositif ci-contre consiste en une maquette représentant en coupe une partie de la rampe et le magasin à sable. La partie gauche de la maquette montre un obélisque déjà levé.

L'objectif

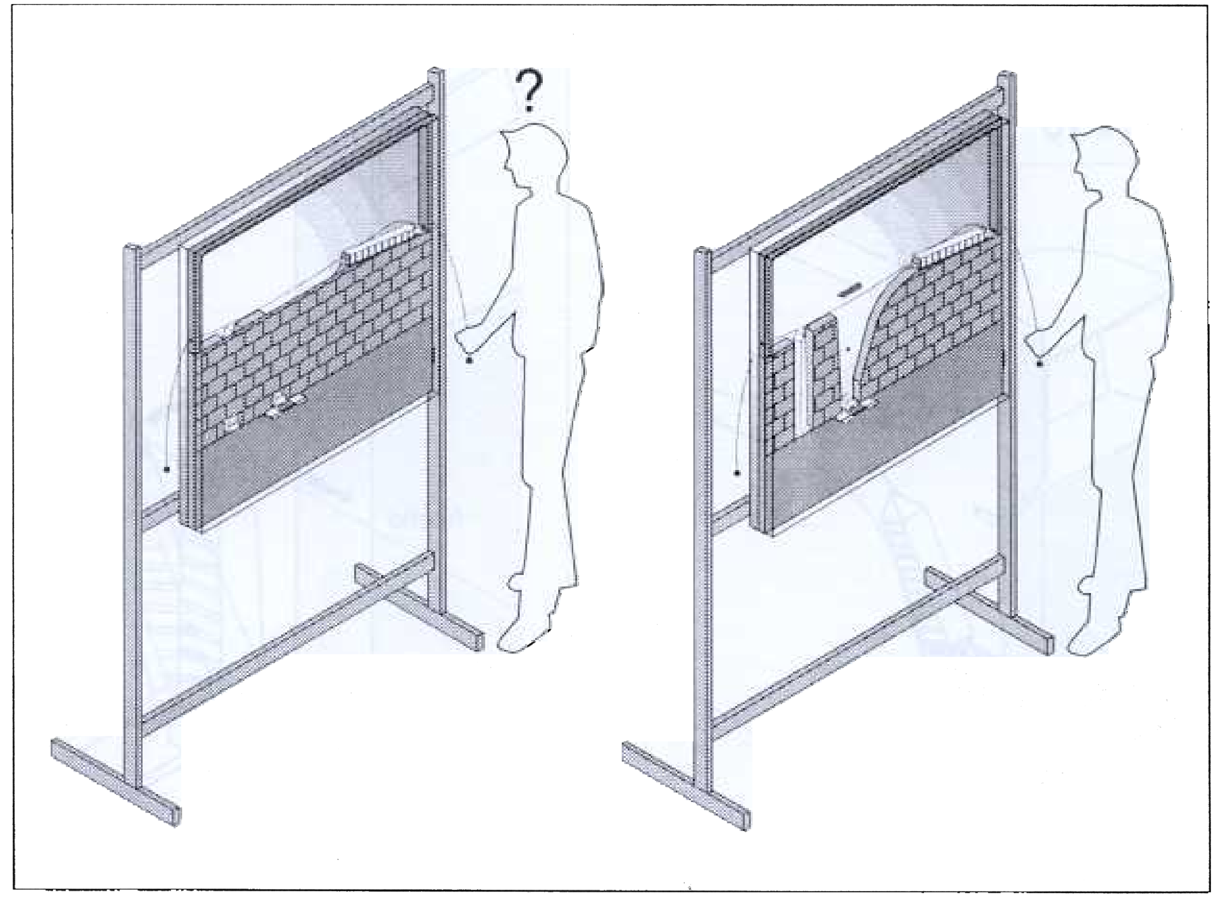
Il est double : présenter la technique d'érection d'un obélisque par remplissage et vidage d'un « magasin » et sensibiliser le public aux difficultés de cette technique et au savoir-faire des bâtisseurs de Karnak.

Remarque. Pour représenter la situation réelle de l'Antiquité, la manipulation devrait cacher les déplacements de l'obélisque, du moins dans la vue frontale. Or, cette situation est trop difficile à appréhender pour le grand public. C'est pourquoi nous avons choisi de rendre les déplacements visibles. Solution qui, en simplifiant la manipulation, supprime une partie des difficultés à résoudre par les Égyptiens.

L'expérience montre que le public ne perçoit pas toujours le savoir-faire à exercer pour que l'obélisque tombe exactement sur son support en fin de manipulation.

D'où l'importance d'un environnement qui explicite le processus global de l'érection d'un obélisque (voir « Exploitation pédagogique » qui nous propose une représentation plus fidèle de la réalité).

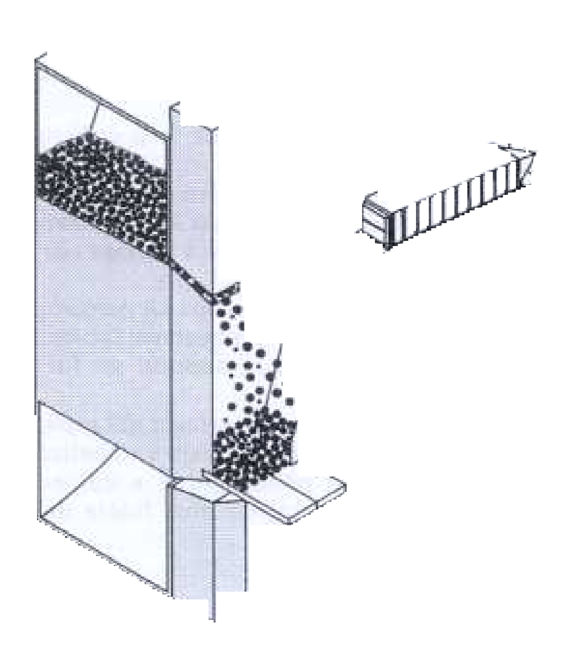
Figure 8



Les solutions de la manipulation.
À gauche, représentation réaliste mais peu compréhensible. À droite, représentation fondée sur la coupe.

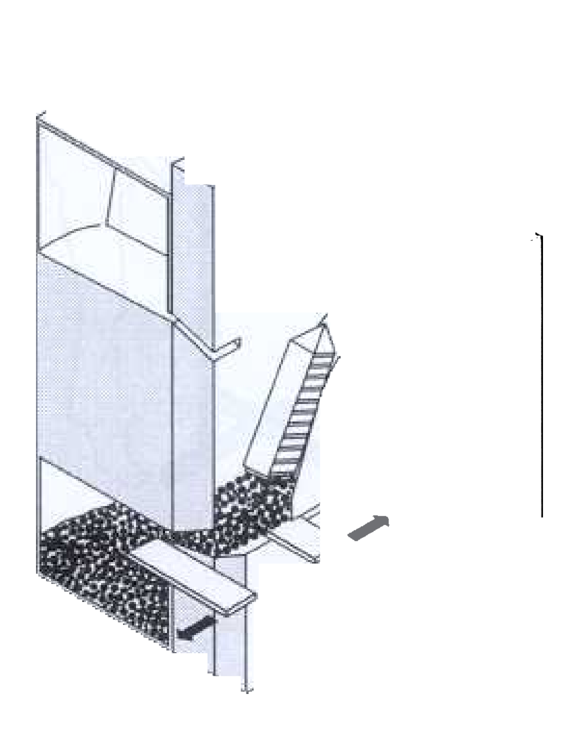
9

P p
d

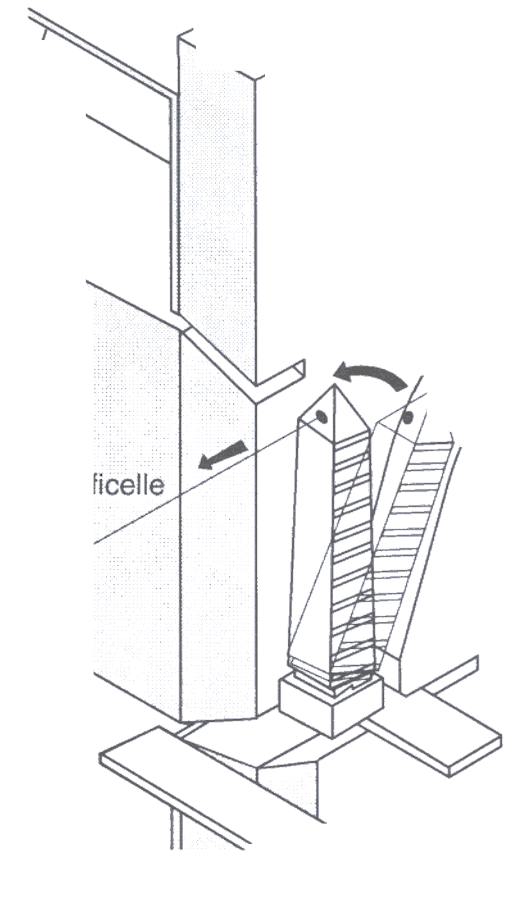


maga

0



idar d agasin



en po:

Les éléments de la manipulation

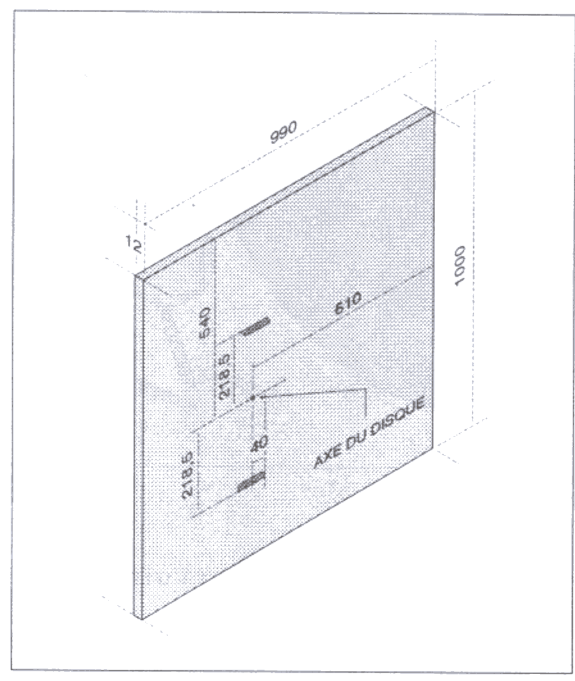
Les panneaux

Le panneau 1
Servant de support à tous les autres, il est en PVC de 12 mm d'épaisseur. Il est percé de deux fentes pour l'écoulement des billes de verre, comme le montrent les différentes planches d'exécution, et d'un trou servant d'axe de rotation pour le disque réservoir.

Le panneau 2 et l'entretoise 4
Ils sont en PVC de 10 mm d'épaisseur. L'entretoise est percée de chaque côté d'un trou de 2 mm de diamètre sur la tranche pour permettre le passage des ficelles servant à manœuvrer l'obélisque.

Le panneau 3
Le panneau 3 recouvre le tout. Il est en PVC clair de 10 mm d'épaisseur. Ces quatre éléments sont rendus solidaires par une série de vis, à 10 mm du bord et sur tout le tour de l'élément. Les 4 vis des 4 angles sont plus longues et permettent de fixer le panneau sur le support.

Figure **12**



Panneau 1.

Figure **13**

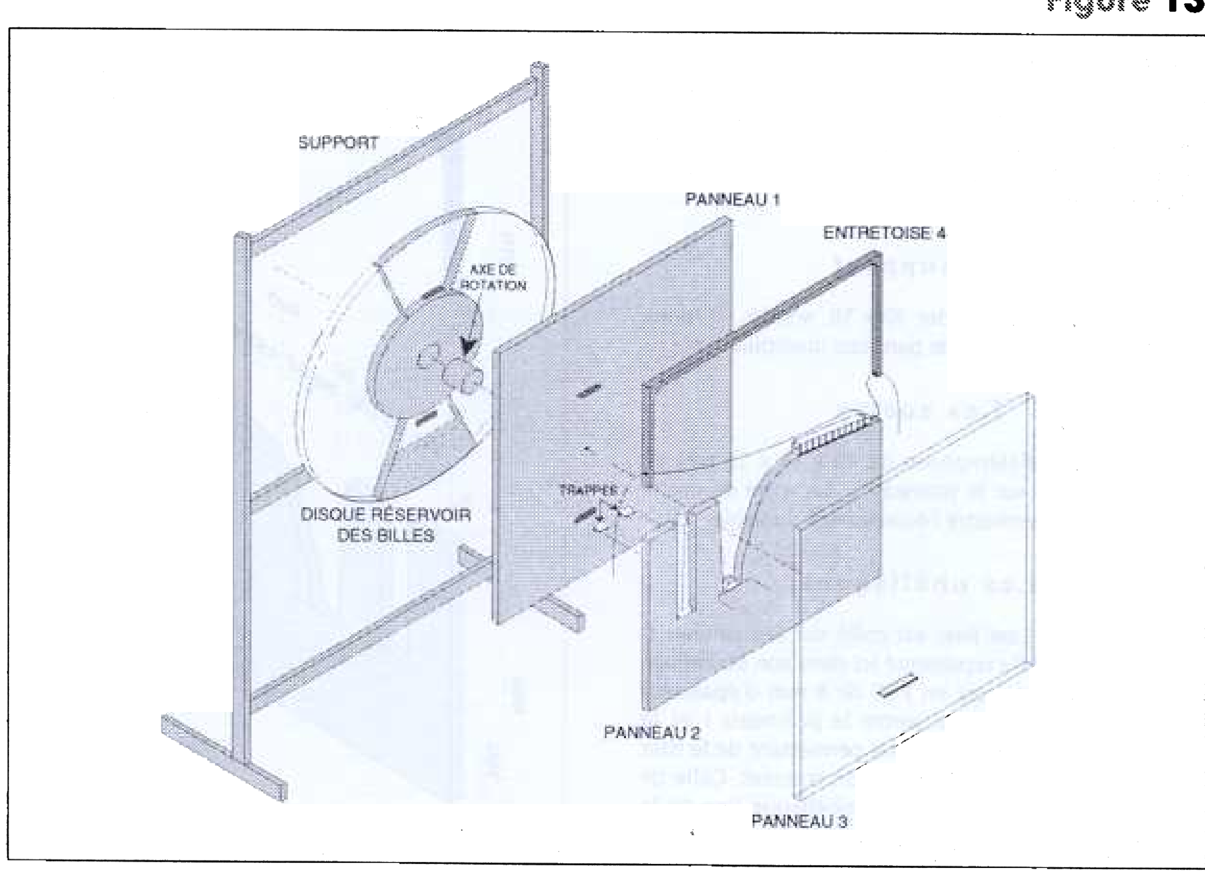
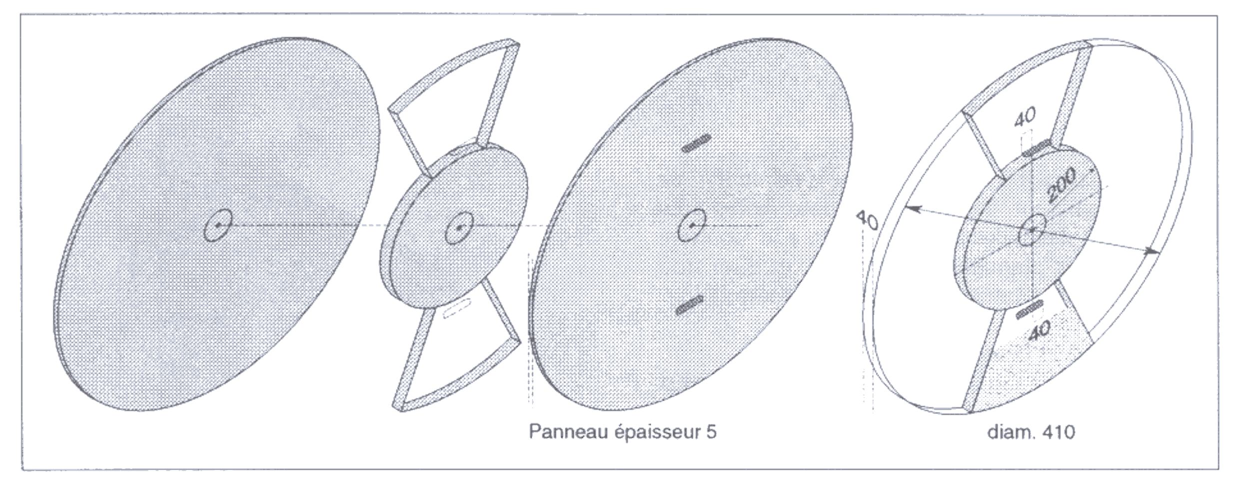


Schéma d'ensemble.

Figure 14



Le disque réservoir.

Le disque réservoir

C'est un disque en dural de 930 mm de diamètre et de 6 mm d'épaisseur percé en son centre d'un trou de fixation et de deux fentes. Ces deux fentes doivent coïncider avec les fentes du panneau 1 pour un bon écoulement du sable qui a servi à manœuvrer l'obélisque. À l'arrière se trouvent placés les réservoirs qui sont disposés symétriquement par rapport au centre du disque dural. Ces réservoirs sont constitués de plaques de PVC de 5 mm d'épaisseur, collées. Un deuxième disque en PVC de 40 mm d'épaisseur permettant à l'ensemble d'avoir une bonne rigidité se trouve au centre. Ce disque peut être fait en empilant plusieurs épaisseurs de PVC de 10 mm.

Le support

Constitué de tubes d'acier 30 x 50, soudés, il forme l'ossature qui maintient le panneau manipulation.

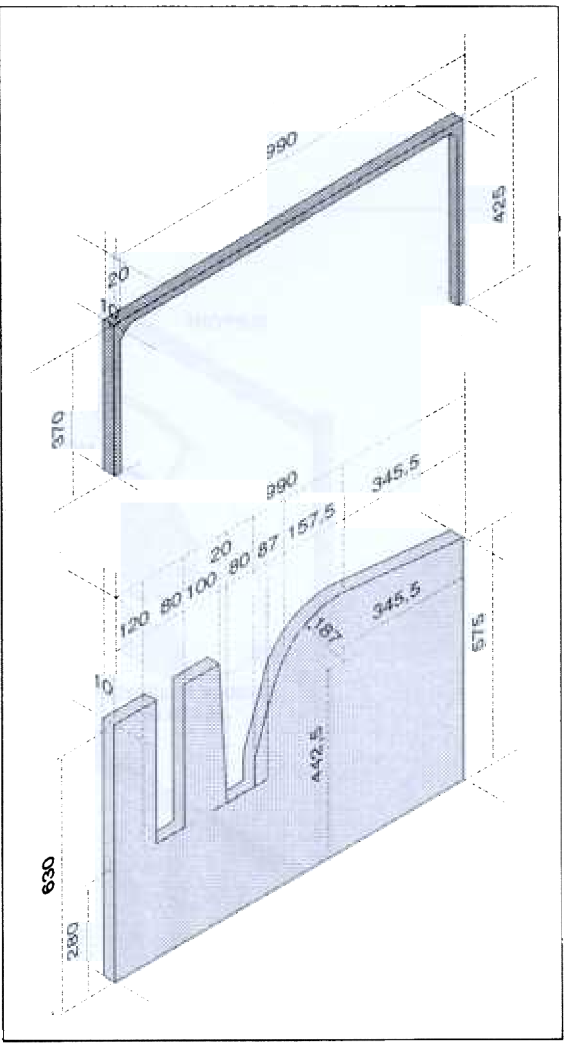
Les socles

Ces petits parallélépipèdes de 40 x 10 x 25 mm en PVC sont collés sur le panneau 1. Le socle de droite est creux pour permettre l'écoulement du sable.

Les obélisques

L'obélisque, qui est fixe, est collé sur le panneau 1. L'obélisque mobile représenté ici dans son emballage de planche de bois est en PVC de 8 mm d'épaisseur pour circuler librement entre le panneau 1 et le panneau 3. La ficelle de gauche permettant de le tirer sur son lit de sable est fixée à son sommet. Celle de droite, nécessaire pour retenir l'obélisque lors de la deuxième phase de l'érection, est fixée un peu au-dessus de son centre de gravité. Cette ficelle sert à remettre l'obélisque en position de départ.

Figure 15



Panneau 2 et entretoise.

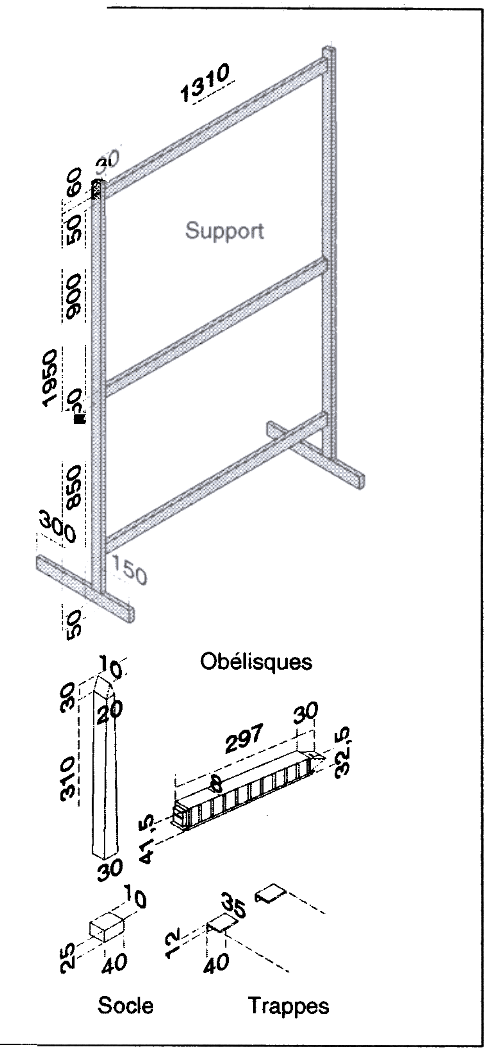
Les trappes

Elles sont faites en tôle dural de 20/10 pliées et elles traversent les panneaux 2 et 3. On pourra insérer une petite corde à piano de 20/10 au milieu du socle de l'obélisque pour limiter le débattement des trappes. Le retour de l'équerre des trappes vient s'encastrer à l'arrière du panneau 2.

L'environnement informatif

Concernant le processus global de cette technique, la manip ne montre pas toutes les phases, lesquelles sont représentées dans les dernières pages de ce dossier. Sur notre prototype, les schémas de ce processus étaient placés dans la partie basse du panneau, c'est-à-dire qu'ils n'étaient pas vus par le public. Dans ces conditions, l'évaluation que nous avons réalisée en recueillant les questions que les visiteurs ont posées pendant la manipulation montre que le public doit comprendre le processus d'érection de l'obélisque avant de manipuler. Le processus peut être reproduit sous la forme de panneaux en amont de la manip pour les phases de montage du mur et de remplissage de la cuve par du sable et en aval pour la démolition du mur. Les dessins au bas de cette page et sur la suivante présentent les illustrations de ces panneaux. Le premier panneau doit préciser la question : « Comment dresser un obélisque sans connaître les techniques de levage ? »
En dégageant le panneau de la manip de cette information, on peut écrire un mode d'emploi qui explicite clairement le jeu et faire percevoir au public que la transparence du mur de la fosse à sable est un artifice pour faciliter la compréhension. On peut terminer par la question : « Et aujourd'hui, comment dresse-t-on l'obélisque ? »

Figure 16

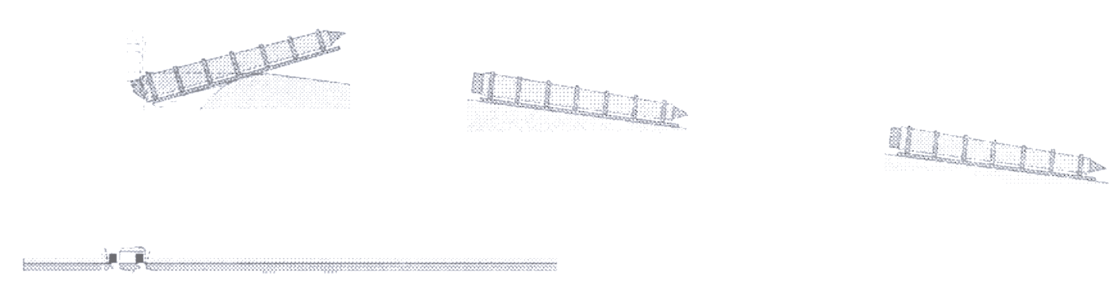


Autres éléments de la manipulation.

4 Exploitation pédagogique

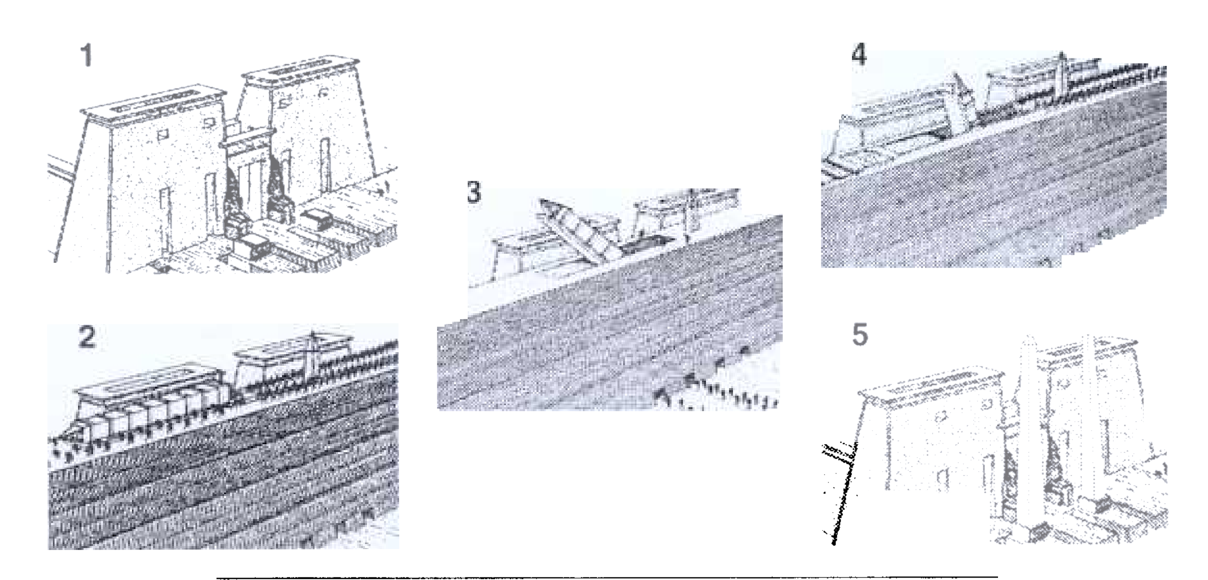
Cette manipulation permet d'aborder l'histoire des techniques de levage. Comment les égyptiens ont-ils pu élever leurs obélisques, objets longs, lourds et fragiles, en utilisant la force motrice humaine et une technique de glisse particulière ? On peut également se demander comment les Grecs qui connaissaient le palan auraient résolu le problème. D'autre part, il serait intéressant de rappeler comment, au XIXe siècle, les obélisques de Paris et de Londres ont été érigés. Enfin, il serait souhaitable de se renseigner auprès des sociétés de levage sur les techniques modernes qui seraient employées de nos jours pour l'érection d'un obélisque. Dans le cadre d'atelier pédagogique, on peut mettre en évidence le procédé de levage, en réalisant une maquette dite de table en découpant dans du contre-plaqué les formes du mur que l'on recouvrirait de deux films de plastique transparent d'emballage, à la base desquels on aurait pratiqué deux ouvertures pour l'évacuation du sable, provoquant ainsi la descente de l'obélisque préalablement découpé dans une planche. Les dessins de la page suivante peuvent être reproduits en transparent avec une photocopieuse.

17



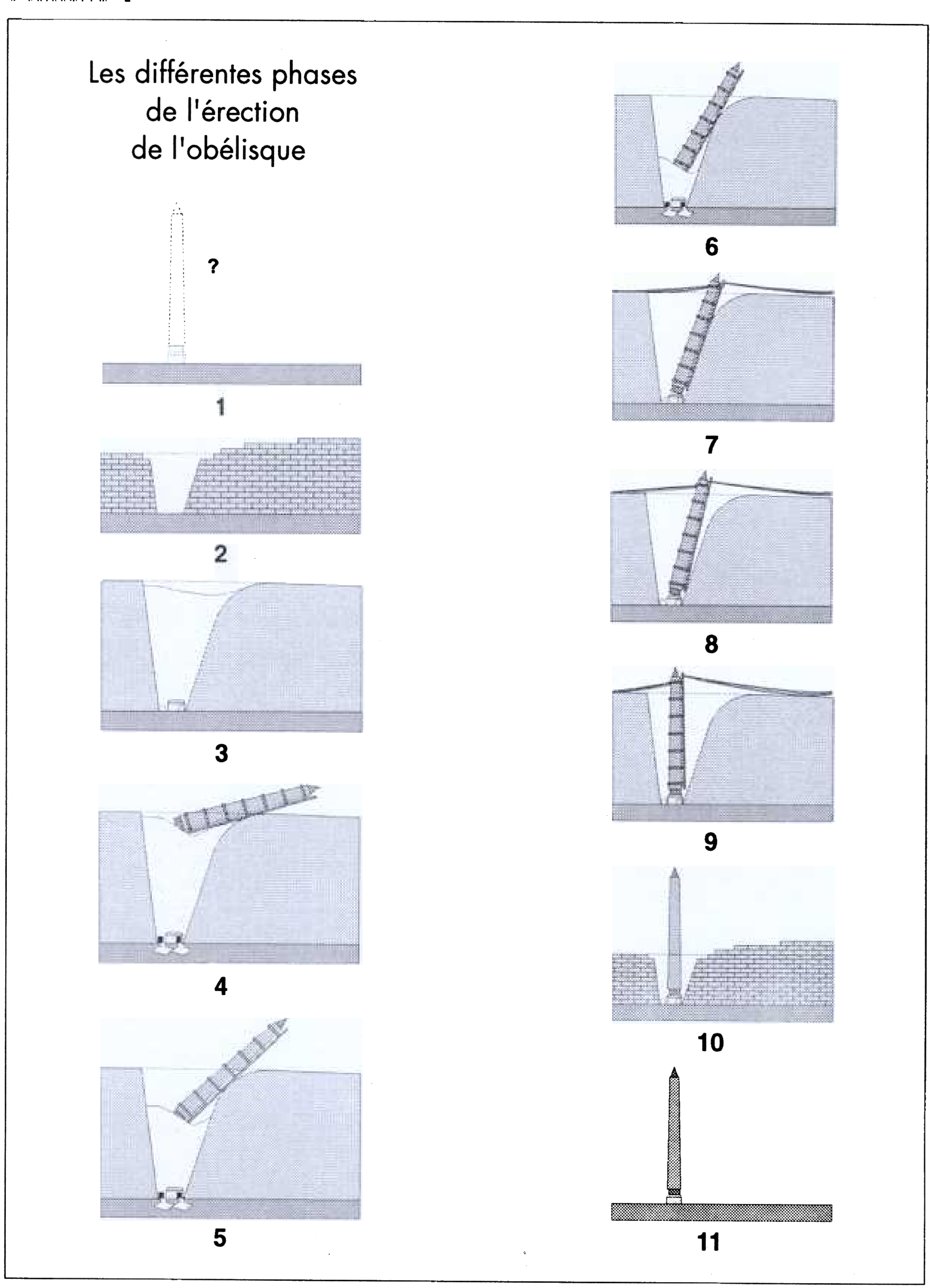
Principe de l'érection de l'obélisque.
Les Égyptiens utilisaient la boue du Nil pour faire glisser leurs monolithes.

18



La progression de l'érection d'un obélisque.
Source : d'après Golvin J. C. & Goyon J. C., *Les bâtisseurs de Karnak*, Presses du CNRS, 1987.

Planche **1**



Modèle pour maquette de table.